



Concurso Público nº 09 - SC/IPS/2020

**Empreitada de Remodelação do
Edifício dos Serviços Centrais do
Instituto Politécnico de Setúbal**

ANEXO DII

Projeto de Execução

Fundações e Estrutura

Cálculo Justificativos

ÍNDICE

1. Introdução	2
2. Verificação da segurança da laje	2
2.1 Ações e combinações	2
2.2 Estados limites últimos	3
2.3 Estados limites de utilização	4
3. Verificação da segurança dos elementos metálicos.....	5
3.1 Estados limites últimos	5
3.2 Estados limites utilização	9
4. Verificação da segurança das Ligações.....	9
4.1 Estados limites Últimos	9
5. Verificação da segurança das fundações.....	13

ANEXO DII - ESTRUTURA

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Concurso Público nº 09 - SC/IPS/2020

Empreitada de Remodelação do Edifício dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Setúbal

1. INTRODUÇÃO

Os presentes cálculos justificativos referem-se ao Projeto de execução das Fundações e Estrutura do piso elevado e a executar na Empreitada de Remodelação da nave do Edifício dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Setúbal.

Nas seções seguintes faz-se a verificação da segurança relativamente à laje, madres, travessas, montantes e ligações.

2. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DA LAJE

Para verificação da segurança da laje em relação aos estados limites últimos de resistência e em relação aos estados limites de utilização (deformação e fendilhação), foi elaborado um modelo de cálculo plano de viga simplesmente apoiada com um vão de 2,5m composto por elementos barra. Este modelo serviu para avaliar os esforços e as deformações.

2.1 AÇÕES E COMBINAÇÕES

A quantificação das ações e combinações usadas na verificação da segurança da laje foi efetuada, em geral, segundo os critérios e regras prescritos no Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes.

As ações que se considerem passíveis de atuar a laje foram as seguintes:

Ações permanentes

- Peso próprio da chapa: $0,13\text{kN/m}^2$;
- Peso próprio da laje de betão: $2,54\text{kN/m}^2$;
- Restantes cargas permanentes devido ao peso de equipamentos, instalações, tetos falsos e revestimentos: $1,50\text{kN/m}^2$ (na laje);

Ações variáveis

- Sobrecarga de construção na laje ($\varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2 = 0$): $1,5 \text{ kN/m}^2$;
- Sobrecarga de utilização ($\varphi_0 = 0,7$; $\varphi_1 = 0,6$; $\varphi_2 = 0,4$):
- laje = $3,0 \text{ kN/m}^2$;
- Sismo ($\varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2 = 0$), não foi considerado condicionante para a verificação da segurança da laje.

As combinações de ações consideradas estão indicadas na Memória Descritiva e Condições Técnicas Especiais.

2.2 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

A verificação da segurança da laje em relação aos estados limites últimos de resistência foi feita de modo a garantir que os esforços atuantes de cálculo para todas as combinações condicionantes fossem inferiores aos esforços resistentes para as fases de construção e de serviço. Estes últimos foram determinados tendo em conta as hipóteses regulamentares e os materiais constituintes dos elementos.

Fase de construção

$$e_{\text{esp}} = 1 \text{ mm}$$

$$h_p = 59 \text{ mm}$$

$$b_{\text{ap}} = 150 \text{ mm}$$

$$W_{\text{ap}} = 30,89 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$V_{\text{ão}} = 2,5 \text{ m}$$

$$P_{\text{sd}} = 1,5 \times (0,13 + 2,54 + 1,50) = 6,3 \text{ kN/m}^2$$

Flexão:

$$M_{\text{sd}} = 6,3 \times 2,5^2 / 8 = 4,9 \text{ kNm/m}$$

$$V_{\text{rd}} = 30,89 \times 10^{-6} \times 320 \times 10^3 / 1,1 = 9,0 \text{ kNm/m}$$

Esforço transverso:

$$V_{\text{sd}} = 6,3 \times 2,5 / 2 = 7,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{\text{rd}} = 1 \times 59 \times 1000 / 150 \times 10^{-6} \times 320 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 66,1 \text{ kN/m}$$

Fase de serviço

$$H_c = 71 \text{ mm}$$

$$A_{ap} = 16,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I_{ap} = 82,39 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$V_{\text{ão}} = 2,5 \text{ m}$$

$$P_{sd} = 1,5 \times (0,13 + 2,54 + 1,50 + 3,00) = 10,8 \text{ kN/m}^2$$

Flexão:

$$M_{sd} = 10,8 \times 2,5^2 / 8 = 8,4 \text{ kNm/m}$$

$$N_{cf} = 16,67 \times 10^{-4} \times 320 \times 10^3 / 1,1 = 485 \text{ kN/m}$$

$$x = 485 / (0,85 \times 13,3 \times 10^3) = 0,0285 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = 485 \times [(71 + 59/2) \times 10^{-3} - 0,5 \times 0,0285] = 41,8 \text{ kNm/m}$$

Corte longitudinal:

$$V_{sd} = 10,8 \times 5/2 = 13,4 \text{ kN/m}$$

$$b_0 = (89 + 61) / 2 / 1000 / 150 = 500 \text{ mm}$$

$$d_p = (71 + 59/2) = 100,5 \text{ mm}$$

$$V_{LRd} = 1,0 \times 100,5 \times 10^{-3} \times [2004 \times 10^3 \times 16,67 \times 10^{-4} / (2,5/4) + 0,05 \times 10^3] / 1,25 = 433,8 \text{ kN/m}$$

Corte Vertical:

$$V_{sd} = 13,4 \text{ kN/m}$$

$$V_{v,Rd} = 500 \times 10^{-3} \times 100,5 \times 10^{-3} \times 0,25 \times 1,5 \times 10^3 / 1,5 \times [1,6 - 100,5 \times 10^{-3}] \times (1,2 + 40 \times 0,02) = 37,7 \text{ kN/m}$$

2.3 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

A verificação da segurança da laje em relação aos estados limites de utilização – deformação – foi feita de modo a garantir que as flechas obtidas para a combinação quase permanente fossem inferiores aos valores limites recomendados pelo EC4.

De acordo com os modelos de cálculo utilizados determinaram-se as seguintes flechas máximas:

Fase de construção:

$$\delta_{cons} = 5/384 \times (0,13 + 2,54 + 1,50) \times 2,5^4 / (210 \times 10^6 \times 82,39 \times 10^{-8}) = 0,012 \text{ m} = L/208 < L/200$$

Fase de serviço:

$$I_{n\text{ão}fend} = 12,39 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m}$$

$$I_{fend} = 7,95 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m}$$

$$I = (12,39 + 7,95) \times 10^{-6} / 2 = 10,17 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m}$$

$$\delta_1 = 5/384 \times 2,5^4 \times [(0,13 + 2,54) / (210 \times 10^6 \times 82,39 \times 10^{-8}) + (1,5) / (210 \times 10^6 \times 10,17 \times 10^{-6})] = 0,008 \text{ m}$$

$$\delta_2 = 5/384 \times 2,5^4 \times (3,0) / (210 \times 10^6 \times 10,17 \times 10^{-6}) = 0,001 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{máx}} = 0,008 + 0,001 = 0,009 \text{ m} = L/277 < L/250$$

a verificação da Segurança das lajes em relação aos estados limites de utilização – fendilhação (estado limite de largura de fendas) – foi feita de modo geral recorrendo a disposições construtivas de armaduras que permitem a sua verificação automática, de acordo com o consagrado no EC4, nomeadamente no que respeita aos afastamentos máximos das armaduras e adoção de armaduras mínimas.

$$A_{\text{stmín}} = 0,2/100 \times 0,071 \times 10^4 = 1,42 \text{ cm}^2/\text{m}$$

3. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DOS ELEMENTOS METÁLICOS

Para verificação da segurança dos elementos metálicos em relação aos estados limites últimos (resistência e encurvadura) e em relação aos estados limites de utilização (deformação), foi utilizado o modelo de cálculo tridimensional, as ações e combinações indicadas na memória descritiva e justificativa.

Os anexos de cálculo mostram os dados introduzidos e os resultados obtidos desse modelo de cálculo.

Nos pontos seguintes mostra-se como se procedeu para a verificação da segurança de cada um dos elementos.

3.1 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

A verificação da segurança dos elementos metálicos em relação aos estados limites últimos de resistência e encurvadura foi feita de modo a garantir que os esforços atuantes de cálculo para todas as combinações condicionantes fossem inferiores aos esforços resistentes. Estes últimos foram determinados tendo em conta as hipóteses regulamentares e os materiais constituintes dos elementos.

Os esforços atuantes (momento fletor e esforço transversal) podem ser vistos nos anexos de cálculo.

Madre HEA220

Flexão:

$M_{sd\max,y} = 83,1 \text{ kNm}$ (elemento 98, combinação 1)

Secção da Classe 1

$M_{c.Rd,y} = 568,5 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 121,5 \text{ kNm}$

Esforço transversal:

$V_{sd\max,z} = 67,6 \text{ kN}$ (elemento 98, combinação 1)

$V_{pl.Rd,z} = 20,67 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 255,0 \text{ kN}$

Flexão + esforço transversal:

$V_{sd,z} < 0,5 \times V_{pl.Rd,z}$ (para todas as situações de combinação M+V)

Encurvadura lateral:

Considera-se que o banzo comprimido está travado pela laje mista, por isso não instabiliza lateralmente.

Travessa HEB240

Flexão:

$M_{sd\max,y} = 83,1 \text{ kNm}$ (elemento 98, combinação 1)

Secção da Classe 1

$M_{c.Rd,y} = 568,5 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 121,5 \text{ kNm}$

Esforço transversal:

$V_{sd\max,z} = 67,6 \text{ kN}$ (elemento 98, combinação 1)

$V_{pl.Rd,z} = 20,67 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 255,0 \text{ kN}$

Flexão + esforço transversal:

$V_{sd,z} < 0,5 \times V_{pl.Rd,z}$ (para todas as situações de combinação M+V)

Encurvadura lateral:

Considera-se que o banzo comprimido está travado pela laje mista, por isso não instabiliza lateralmente.

Travessa HEB240

Flexão:

$$M_{sd\max,y} = 205 \text{ kNm (elemento 38, combinação 1)}$$

Seção da Classe 1

$$M_{c,Rd,y} = 1053 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 225 \text{ kNm}$$

Esforço transversal:

$$V_{sd\max,z} = 171,2 \text{ kN (elemento 38, combinação 1)}$$

$$V_{pl,Rd,z} = 33,23 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 410 \text{ kN}$$

Flexão + esforço transversal:

$$V_{sd,z} < 0,5 \times V_{pl,Rd,z} \text{ (para todas as situações de combinação M+V)}$$

Encurvadura lateral:

$$M_{sd\max,y} = 205 \text{ kNm (elemento 38, combinação 1)}$$

$$l_{LT} = 2,5 \text{ m}$$

$$M_{cr} = 1,0 \times \pi^2 \times 210 \times 10^6 \times 3923 \times 10^{-8} / 2,5^2 \times \sqrt{[(486,9 \times 10^{-9} + 0,039 \times 2,5^2 \times 102,7 \times 10^{-8}) / (3923 \times 10^{-8})]} = 1783 \text{ KNm}$$

$$\lambda_{LT} \text{ (normalizada)} = \sqrt{(1053 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1783)} = 0,37$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 225 \text{ kNm}$$

Montante HEB240

Compressão:

$$N_{sd\max} = 308,5 \text{ kN (elemento 36, combinação 1)}$$

Seção da Classe 1

$$N_{c,Rd} = 106 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 2264 \text{ kN}$$

Flexão:

$$M_{sd\max,y} = 98,0 \text{ kNm (elemento 36, combinação 3)}$$

Seção da Classe 1

$$M_{c,Rd,y} = 1053 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 225 \text{ kNm}$$

$$M_{sd\max,z} = 25,8 \text{ kNm (elemento 41, combinação 5)}$$

Seção da Classe 1

$$M_{c.Rd,z} = 498,4 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 106,5 \text{ kNm}$$

Esforço transversal:

$$V_{sd\max,z} = 28,0 \text{ kN (elemento 36, combinação 3)}$$

$$V_{pl.Rd,z} = 33,23 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 410 \text{ kN}$$

$$V_{sd\max,y} = 7,4 \text{ kN (elemento 41, combinação 5)}$$

$$V_{pl.Rd,y} = 2 \times 240 \times 17 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 1006 \text{ kN}$$

Flexão + esforço transversal:

$$V_{sd} < 0,5 \times V_{pl.Rd} \text{ (para todas as situações de combinação M+V)}$$

Encurvadura por compressão:

$$N_{sd\max} = 308,5 \text{ kN (elemento 36, combinação 1)}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$\lambda \text{ (normalizada)} = [3,5 / (6,08 \times 10^{-2})] / 93,9 = 0,61$$

$$\chi \text{ (curva c)} = 0,78$$

$$N_{b.Rd} = 0,78 \times 2264 = 1761 \text{ kN}$$

Flexão composta por encurvadura (elemento 36, combinação 1):

$$N_{sd} = 304,2 \text{ kN}$$

$$M_{sd,y} = 82,5 \text{ kNm}$$

$$M_{sd,z} = 0 \text{ kNm}$$

$$304,2 / 1761 + 1,5 \times 82,5 / 225 = 0,72 < 1,0 \text{ (por simplificação foi considerado fator de amplificação de 1,5).}$$

Travessa UPN200 (escada)

Flexão:

$$M_{sd\max,y} = 27,5 \text{ kNm (elemento 113, combinação 1)}$$

Seção da Classe 1

$$M_{c.Rd,y} = 228 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 48,7 \text{ kNm}$$

Esforço transversal:

$$V_{sd\max,z} = 32,5 \text{ kN (elemento 75, combinação 3)}$$

$$V_{pl.Rd,z} = 17,71 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 1,1) = 218,4 \text{ kN}$$

Flexão + esforço transverso:

$$V_{sd} < 0,5V_{pl,Rd} \text{ (para todas as situações de combinação M+V)}$$

3.2 ESTADOS LIMITES UTILIZAÇÃO

A verificação da segurança dos elementos metálicos em relação aos estados limites de utilização– deformação - foi feita de modo a garantir que as flechas obtidas para a combinação rara fossem inferiores aos valores limites recomendados pelo EC3.

Os deslocamentos podem ser vistos nos anexos de cálculo – secção 4. De acordo com o modelo de cálculo utilizado obtiveram-se as seguintes flechas máximas:

Madre HEA220

$$\delta_{máx} = 0,019 - (0,008 + 0,005)/2 \text{ m} = 0,013 \text{ m} = L/372 < L/250 \text{ (L=4,84m)}$$

Travessa HEB240

$$\delta_{máx} = 0,013 \text{ m} = L/476 < L/250 \text{ (L=6,19m)}$$

Travessa UPN200

$$\delta_{máx} = 0,011 \text{ m} = L/582 < L/250 \text{ (L=6,4m)}$$

4. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DAS LIGAÇÕES

Para verificação da segurança das ligações em relação aos estados limites últimos foi utilizado o modelo de cálculo automático indicado na verificação da segurança dos elementos metálicos.

Nos pontos seguintes mostra-se como se procedeu para a verificação da segurança das ligações.

4.1 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

A verificação da segurança das ligações em relação aos estados limites últimos foi feita de modo a garantir que os esforços atuantes de cálculo para todas as combinações condicionantes fossem inferiores aos esforços resistentes. Estes últimos foram determinados tendo em conta as hipóteses regulamentares e os materiais constituintes dos elementos.

Ligação do Montante HEB240 à fundação

- Chumbadouros

De acordo com a disposição de chumbadouros M16 da classe 5.6 adotada (vide peças desenhadas):

Tração:

Nó 19 (combinação 4):

$$M_{sd,z} = 25,6 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 35,7 \text{ kN (compressão)}$$

$$F_{sd,tração} = -35,7/4 + 25,6/(0,24 \times 2) = 44,5 \text{ kN/chumbadouro}$$

$$F_{Rd,tração} = \min(0,9 \times 500 \times 10^3 \times 157 \times 10^{-6} / 1,25 ; \pi \times 0,016 \times 0,5 \times 2,25 \times 1500 / 1,5) = 56,5 \text{ kN/chumbadouro}$$

Corte:

Nó 43 (combinação 3):

$$V_{sd,y} = 27,8 \text{ kN}$$

$$V_{sd,z} = 5,8 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = ((27,8/4)^2 + (5,8/4)^2)^{1/2} = 7,1 \text{ kN/chumbadouro}$$

$$F_{Rd,corte} = (0,44 - 0,0003 \times 300) \times 500 \times 10^3 \times 157 \times 10^{-6} / 1,25 = 22,0 \text{ kN/chumbadouro}$$

Corte + Tração:

Nó 19 (combinação 4):

$$M_{sd,z} = 25,6 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 35,7 \text{ kN (compressão)}$$

$$V_{sd,y} = 9,7 \text{ kN}$$

$$V_{sd,z} = 7,0 \text{ kN}$$

$$F_{sd,tração} = 44,5 \text{ kN/chumbadouro}$$

$$F_{sd,corte} = ((9,7/4)^2 + (7,0/4)^2)^{1/2} = 3,0 \text{ kN/chumbadouro}$$

$$\text{Interacção: } 3,0/22,0 + 44,5/(1,4 \times 56,5) = 0,70 < 1,0$$

- Chapa de topo

Chapa com 320x320x15 (mmxmmxmm):

Esmagamento:

Nó 43 (combinação 3):

$$V_{sd,y} = 27,8 \text{ kN}$$

$$V_{sd,z} = 5,8 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = 7,1 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0,74 \times 360 \times 10^3 \times 0,016 \times 0,015 / 1,25 = 128 \text{ kN}$$

Punçoamento:

Nó 19 (combinação 4):

$$M_{sd,z} = 25,6 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 35,7 \text{ kN (compressão)}$$

$$F_{sd, \text{tracção}} = 44,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \times 0,024 \times 0,015 \times 360 \times 10^3 / 1,25 = 195 \text{ kN}$$

Flexão:

Nó 19 (combinação 4):

$$M_{sd,z} = 25,6 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 35,7 \text{ kN (compressão)}$$

$$F_{sd, \text{tracção}} = 44,5 \text{ kN}$$

$$m_{sd} = 44,5 \times 0,04 = 1,78 \text{ kNm}$$

$$m_{c,Rd} = 0,32 \times 0,015^2 / 6 \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 2,56 \text{ kNm}$$

Ligação da madre HEA220 à travessa HEB240

- Parafusos

De acordo com a disposição de parafusos M16 da classe 5.6 adotada (vide peças desenhadas):

Corte:

Elemento 69 (combinação 1):

$$V_{sd,z} = 22,1 \text{ kN}$$

$$F_{sd, \text{corte}} = 22,1 / 2 = 11,1 \text{ kN/parafuso}$$

$$F_{Rd, \text{corte}} = 0,6 \times 500 \times 10^3 \times 84 \times 10^{-6} / 1,25 = 20,2 \text{ kN/parafuso}$$

- Chapa

Chapa com 220x210x10 (mmxmmxmm):

Esmagamento:

Elemento 69 (combinação 1):

$$V_{sd,z} = 22,1 \text{ kN}$$

$$F_{sd, \text{corte}} = 11,1 \text{ kN/parafuso}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0,95 \times 360 \times 10^3 \times 0,012 \times 0,010 / 1,25 = 85,3 \text{ kN}$$

Ligação do UPN200 à travessa HEA220

- Parafusos

De acordo com a disposição de parafusos M12 da classe 5.6 adotada (vide peças desenhadas):

Corte

Elemento 114 (combinação 1):

$$V_{sd,z} = 14,9 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = 14,9/2 = 7,5 \text{ kN/parafuso}$$

$$F_{Rd,corte} = 0,6 \times 500 \times 10^3 \times 84 \times 10^{-6} / 1,25 = 20,2 \text{ kN/parafuso}$$

-chapa

Chapa com 165x200x10 (mmxmmxmm):

Esmagamento:

Elemento 114 (combinação 1):

$$V_{sd,z} = 14,9 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = 7,5 \text{ kN/parafuso}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0,71 \times 360 \times 10^3 \times 0,012 \times 0,010 / 1,25 = 61,7 \text{ kN}$$

Ligação do UPN200 ao pavimento térreo

- Buchas

De acordo com a disposição de buchas M16x120/25/50 adotada (vide peças desenhadas):

Tração:

Nó 59 (combinação 2):

$$N_{sd} = 13,3 \text{ kN (tracção)}$$

$$F_{sd,tracção} = 13,3/2 = 6,7 \text{ kN/bucha}$$

$$F_{Rd,tracção} = \min(23,3 ; 25,9 \times 0,71 ; 43,7) = 18,4 \text{ kN/bucha}$$

Corte:

Nó 62 (combinação 3):

$$V_{sd,z} = 39,1 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = 39,1/2 = 19,6 \text{ kN/bucha}$$

$$F_{Rd,corte} = 26,5 \text{ kN/bucha}$$

Corte + Tração:

Nó 59 (combinação 2):

$$N_{sd} = 13,3 \text{ kN (tração)}$$

$$V_{sd,z} = 26,6 \text{ kN}$$

$$F_{sd,tração} = 6,7 \text{ kN/bucha}$$

$$F_{sd,corte} = 26,6/2 = 13,3 \text{ kN/bucha}$$

$$\text{Interação: } 13,3/26,5 + 6,7/(1,4 \times 10,6) = 0,75 < 1,0$$

- Chapa

Chapa com 165x240x8 (mmxmmxmm):

Esmagamento:

Nó 62 (combinação 3):

$$V_{sd,z} = 39,1 \text{ kN}$$

$$F_{sd,corte} = 19,6 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0,71 \times 360 \times 10^3 \times 0,012 \times 0,008 / 1,25 = 49,4 \text{ kN}$$

Punçãoamento:

Nó 59 (combinação 2):

$$N_{sd} = 13,3 \text{ kN (tração)}$$

$$F_{sd,tração} = 6,7 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \times \pi \times 0,019 \times 0,008 \times 360 \times 10^3 / 1,25 = 82,5 \text{ kN}$$

Flexão:

Nó 59 (combinação 2):

$$N_{sd} = 13,3 \text{ kN (tração)}$$

$$F_{sd,tração} = 6,7 \text{ kN}$$

$$m_{sd} = 6,7 \times 0,03 = 0,20 \text{ kNm}$$

$$m_{c,Rd} = 0,24 \times 0,008^2 / 6 \times 235 \times 10^3 / 1,1 = 0,55 \text{ kNm}$$

5. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DAS FUNDAÇÕES

Na verificação da segurança das fundações do muro em relação aos estados limites últimos de rotura do solo de fundação foi garantida que a tensão normal na base da sapata para a combinação rara de ações não exceda o valor da tensão normal admissível de 220 kPa.

Na verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência da sapata de fundação foi elaborado um modelo de encaminhamento de cargas através de escoras e tirantes sendo posteriormente determinada uma armadura necessária para resistir aos esforços nos tirantes e verificada a compressão máxima nas escoras.

No quadro seguinte mostra os resultados obtidos em cada sapata (nó no modelo de cálculo) para as várias combinações de ações.

Sapata	Esforços na sapata			Dimensões da sapata			Excentricidade		Tensões no terreno				Armadura na sapata	
	N _{Sd}	M _{Sd,2}	M _{Sd,1}	A _x	A _y	H	e _x	e _y	t _{x,máx.}	t _{x,min.}	t _{y,máx.}	t _{y,min.}	A _{s,x}	A _{s,y}
	(kN)	(kNm)	(kNm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm ² /m)	(cm ² /m)
1	107,2	0,0	2,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,018	122	122	135	109	0,41	0,43
1	73,8	0,0	15,9	1,00	1,00	0,60	0,000	0,179	89	89	184	0	0,30	0,49
1	59,5	0,0	-13,3	1,00	1,00	0,60	0,000	0,179	74	74	154	0	0,25	0,41
1	98,1	0,0	16,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,145	113	113	212	15	0,38	0,57
1	83,8	0,0	-12,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,129	99	99	175	22	0,33	0,48
1	73,5	0,0	16,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,180	88	88	185	0	0,29	0,49
1	59,8	0,0	-13,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,179	75	75	155	0	0,25	0,42
1	97,8	0,0	16,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,146	113	113	212	14	0,38	0,57
1	84,1	0,0	-12,9	1,00	1,00	0,60	0,000	0,130	99	99	176	22	0,33	0,48
8	29,5	0,0	1,0	1,30	1,30	0,60	0,000	0,018	32	32	35	30	0,21	0,22
8	30,9	0,0	17,2	1,30	1,30	0,60	0,000	0,306	33	33	84	0	0,21	0,45
8	7,6	0,0	-16,0	1,30	1,30	0,60	0,000	0,487	19	19	103	0	0,12	0,68
8	37,1	0,0	17,5	1,30	1,30	0,60	0,000	0,280	37	37	86	0	0,23	0,46
8	13,7	0,0	-15,8	1,30	1,30	0,60	0,000	0,404	23	23	81	0	0,15	0,47
8	30,5	0,0	17,3	1,30	1,30	0,60	0,000	0,310	33	33	84	0	0,21	0,45
8	8,1	0,0	-16,1	1,30	1,30	0,60	0,000	0,482	20	20	102	0	0,13	0,67
8	36,6	0,0	17,6	1,30	1,30	0,60	0,000	0,283	37	37	87	0	0,23	0,46
8	14,2	0,0	-15,9	1,30	1,30	0,60	0,000	0,401	23	23	82	0	0,15	0,47
14	61,6	0,0	2,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,031	77	77	91	62	0,25	0,28
14	43,0	0,0	2,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,049	58	58	75	41	0,19	0,23
14	34,8	0,0	0,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,000	50	50	50	50	0,17	0,17
14	56,6	0,0	3,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,048	72	72	92	51	0,24	0,28
14	48,4	0,0	0,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,009	63	63	67	60	0,21	0,22
14	42,9	0,0	2,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,045	58	58	73	42	0,19	0,22
14	34,9	0,0	0,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,005	50	50	51	49	0,17	0,17

Sapata	Esforços na sapata			Dimensões da sapata			Excentricidade		Tensões no terreno				Armadura na sapata	
	N _{Sd} (kN)	M _{Sd,2} (kNm)	M _{Sd,1} (kNm)	A _x (m)	A _y (m)	H (m)	e _x (m)	e _y (m)	t _{x,máx.} (kN/m ²)	t _{x,min.} (kN/m ²)	t _{y,máx.} (kN/m ²)	t _{y,min.} (kN/m ²)	A _{s,x} (cm ² /m)	A _{s,y} (cm ² /m)
14	56,5	0,0	3,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,044	71	71	90	52	0,24	0,28
14	48,5	0,0	0,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,013	64	64	69	59	0,21	0,22
19	25,9	0,0	1,0	1,30	1,30	0,60	0,000	0,019	30	30	33	28	0,19	0,20
19	29,9	0,0	17,2	1,30	1,30	0,60	0,000	0,311	33	33	84	0	0,21	0,45
19	4,1	0,0	-16,0	1,30	1,30	0,60	0,000	0,544	17	17	143	0	0,11	1,13
19	35,2	0,0	17,4	1,30	1,30	0,60	0,000	0,288	36	36	86	0	0,23	0,45
19	9,4	0,0	-15,8	1,30	1,30	0,60	0,000	0,454	21	21	91	0	0,13	0,56
19	29,5	0,0	17,3	1,30	1,30	0,60	0,000	0,315	32	32	84	0	0,21	0,45
19	4,6	0,0	-16,1	1,30	1,30	0,60	0,000	0,539	18	18	138	0	0,11	1,06
19	34,8	0,0	17,5	1,30	1,30	0,60	0,000	0,292	36	36	86	0	0,23	0,46
19	9,9	0,0	-15,9	1,30	1,30	0,60	0,000	0,451	21	21	91	0	0,13	0,56
24	56,3	0,0	5,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,075	71	71	104	39	0,24	0,30
24	40,3	0,0	6,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,123	55	55	96	14	0,18	0,26
24	31,4	0,0	-0,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,011	46	46	49	43	0,15	0,16
24	52,5	0,0	8,1	1,00	1,00	0,60	0,000	0,121	68	68	116	19	0,22	0,32
24	43,7	0,0	0,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,014	59	59	64	54	0,20	0,20
24	40,1	0,0	6,7	1,00	1,00	0,60	0,000	0,121	55	55	95	15	0,18	0,26
24	31,5	0,0	-0,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,008	47	47	49	44	0,15	0,16
24	52,4	0,0	8,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,119	67	67	115	19	0,22	0,32
24	43,8	0,0	1,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,017	59	59	65	53	0,20	0,21
25	93,8	0,0	2,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,018	109	109	121	97	0,36	0,39
25	66,5	0,0	16,3	1,00	1,00	0,60	0,000	0,200	82	82	181	0	0,27	0,49
25	50,5	0,0	-14,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,214	66	66	153	0	0,22	0,42
25	87,7	0,0	16,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,164	103	103	204	2	0,34	0,54
25	71,7	0,0	-13,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,156	87	87	168	6	0,29	0,45
25	66,2	0,0	16,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,203	81	81	182	0	0,27	0,49
25	50,8	0,0	-14,1	1,00	1,00	0,60	0,000	0,215	66	66	154	0	0,22	0,42
25	87,4	0,0	17,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,165	102	102	204	1	0,34	0,54
25	72,0	0,0	-13,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,157	87	87	169	5	0,29	0,45
37	53,4	0,0	1,0	1,00	1,30	0,60	0,000	0,014	56	56	60	53	0,19	0,37
37	48,2	0,0	17,2	1,00	1,30	0,60	0,000	0,254	52	52	114	0	0,17	0,59
37	19,2	0,0	-16,0	1,00	1,30	0,60	0,000	0,415	30	30	110	0	0,10	0,64
37	60,0	0,0	17,5	1,00	1,30	0,60	0,000	0,220	61	61	123	0	0,20	0,63
37	31,0	0,0	-15,8	1,00	1,30	0,60	0,000	0,313	39	39	100	0	0,13	0,54
37	47,8	0,0	17,3	1,00	1,30	0,60	0,000	0,257	52	52	114	0	0,17	0,59
37	19,6	0,0	-16,1	1,00	1,30	0,60	0,000	0,413	30	30	110	0	0,10	0,64
37	59,7	0,0	17,6	1,00	1,30	0,60	0,000	0,222	61	61	123	0	0,20	0,63
37	31,4	0,0	-15,9	1,00	1,30	0,60	0,000	0,312	39	39	100	0	0,13	0,54
42	107,9	0,0	2,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,019	123	123	137	109	0,41	0,44
42	71,0	0,0	2,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,033	86	86	103	69	0,29	0,32
42	62,0	0,0	0,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,000	77	77	77	77	0,26	0,26
42	95,9	0,0	3,4	1,00	1,00	0,60	0,000	0,031	111	111	131	90	0,37	0,41

Sapata	Esforços na sapata			Dimensões da sapata			Excentricidade		Tensões no terreno				Armadura na sapata	
	N _{sd}	M _{sd,2}	M _{sd,1}	A _x	A _y	H	e _x	e _y	t _{x,máx.}	t _{x,min.}	t _{y,máx.}	t _{y,min.}	A _{s,x}	A _{s,y}
	(kN)	(kNm)	(kNm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm ² /m)	(cm ² /m)
42	86,9	0,0	0,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,006	102	102	105	98	0,34	0,35
42	70,8	0,0	2,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,030	86	86	101	70	0,29	0,32
42	62,2	0,0	0,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,003	77	77	79	76	0,26	0,26
42	95,7	0,0	3,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,029	111	111	130	92	0,37	0,41
42	87,1	0,0	0,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,008	102	102	107	97	0,34	0,35
43	205,4	0,0	2,2	1,30	1,30	0,60	0,000	0,009	137	137	142	131	0,87	0,89
43	133,2	0,0	15,8	1,30	1,30	0,60	0,000	0,100	94	94	137	51	0,60	0,76
43	116,5	0,0	-13,3	1,30	1,30	0,60	0,000	0,094	84	84	120	48	0,53	0,67
43	181,5	0,0	16,4	1,30	1,30	0,60	0,000	0,079	122	122	167	78	0,78	0,95
43	164,8	0,0	-12,8	1,30	1,30	0,60	0,000	0,067	113	113	147	78	0,71	0,85
43	132,9	0,0	15,9	1,30	1,30	0,60	0,000	0,101	94	94	137	50	0,59	0,76
43	116,8	0,0	-13,4	1,30	1,30	0,60	0,000	0,094	84	84	121	47	0,53	0,68
43	181,2	0,0	16,5	1,30	1,30	0,60	0,000	0,080	122	122	167	77	0,78	0,95
43	165,1	0,0	-12,9	1,30	1,30	0,60	0,000	0,068	113	113	148	78	0,72	0,85
46	62,4	0,0	1,0	1,00	1,30	0,60	0,000	0,012	63	63	67	59	0,21	0,41
46	52,5	0,0	17,2	1,00	1,30	0,60	0,000	0,239	55	55	117	0	0,18	0,60
46	25,7	0,0	-16,1	1,00	1,30	0,60	0,000	0,355	35	35	102	0	0,12	0,57
46	66,5	0,0	17,5	1,00	1,30	0,60	0,000	0,203	66	66	128	4	0,22	0,66
46	39,7	0,0	-15,8	1,00	1,30	0,60	0,000	0,267	46	46	103	0	0,15	0,54
46	52,1	0,0	17,3	1,00	1,30	0,60	0,000	0,242	55	55	117	0	0,18	0,60
46	26,0	0,0	-16,1	1,00	1,30	0,60	0,000	0,355	35	35	103	0	0,12	0,57
46	66,2	0,0	17,6	1,00	1,30	0,60	0,000	0,205	66	66	128	4	0,22	0,66
46	40,0	0,0	-15,9	1,00	1,30	0,60	0,000	0,267	46	46	104	0	0,15	0,54
51	95,0	0,0	-2,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,024	110	110	126	94	0,37	0,40
51	61,0	0,0	2,7	1,00	1,00	0,60	0,000	0,035	76	76	92	60	0,25	0,29
51	56,0	0,0	-5,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,082	71	71	106	36	0,24	0,31
51	82,9	0,0	2,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,021	98	98	110	86	0,33	0,35
51	77,9	0,0	-6,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,069	93	93	132	54	0,31	0,39
51	60,8	0,0	2,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,032	76	76	91	61	0,25	0,28
51	56,2	0,0	-5,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,078	71	71	105	38	0,24	0,30
51	82,7	0,0	1,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,018	98	98	109	87	0,33	0,35
51	78,1	0,0	-6,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,067	93	93	130	56	0,31	0,38
52	174,4	0,0	2,2	1,30	1,30	0,60	0,000	0,011	118	118	124	112	0,75	0,77
52	111,7	0,0	15,9	1,30	1,30	0,60	0,000	0,116	81	81	124	38	0,51	0,68
52	100,7	0,0	-13,3	1,30	1,30	0,60	0,000	0,105	75	75	111	38	0,47	0,61
52	152,6	0,0	16,4	1,30	1,30	0,60	0,000	0,092	105	105	150	61	0,67	0,84
52	141,6	0,0	-12,7	1,30	1,30	0,60	0,000	0,076	99	99	133	64	0,63	0,76
52	111,5	0,0	16,0	1,30	1,30	0,60	0,000	0,117	81	81	125	37	0,51	0,68
52	100,8	0,0	-13,4	1,30	1,30	0,60	0,000	0,106	75	75	111	38	0,47	0,62
52	152,4	0,0	16,5	1,30	1,30	0,60	0,000	0,093	105	105	150	60	0,67	0,84
52	141,8	0,0	-12,8	1,30	1,30	0,60	0,000	0,077	99	99	134	64	0,63	0,76
56	47,9	0,0	2,3	1,00	1,00	0,60	0,000	0,037	63	63	77	49	0,21	0,24

Sapata	Esforços na sapata			Dimensões da sapata			Excentricidade		Tensões no terreno				Armadura na sapata	
	N_{sd}	$M_{sd,2}$	$M_{sd,1}$	A_x	A_y	H	e_x	e_y	$t_{x,máx.}$	$t_{x,min.}$	$t_{y,máx.}$	$t_{y,min.}$	$A_{s,x}$	$A_{s,y}$
	(kN)	(kNm)	(kNm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm ² /m)	(cm ² /m)
56	42,9	0,0	2,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,048	58	58	75	41	0,19	0,23
56	11,1	0,0	0,0	1,00	1,00	0,60	0,000	0,000	26	26	26	26	0,09	0,09
56	55,4	0,0	3,3	1,00	1,00	0,60	0,000	0,048	70	70	91	50	0,23	0,27
56	23,7	0,0	0,6	1,00	1,00	0,60	0,000	0,015	39	39	42	35	0,13	0,14
56	41,1	0,0	2,5	1,00	1,00	0,60	0,000	0,045	56	56	71	41	0,19	0,22
56	13,0	0,0	0,2	1,00	1,00	0,60	0,000	0,008	28	28	29	27	0,09	0,10
56	53,6	0,0	3,1	1,00	1,00	0,60	0,000	0,045	69	69	87	50	0,23	0,27
56	25,5	0,0	0,8	1,00	1,00	0,60	0,000	0,020	40	40	45	36	0,13	0,14

Barreiro, Dezembro de 2007.